

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) **182 131** (13) U1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(51) МПК  
[G01N 11/00 \(2006.01\)](#)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 17.08.2018)  
Пошлина: учтена за 1 год с 26.12.2017 по 26.12.2018

(21)(22) Заявка: [2017146061](#), 26.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.12.2017

Дата регистрации:  
03.08.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2017

(45) Опубликовано: [03.08.2018](#) Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2583343 C1, 10.05.2016.  
Диссертация: "Исследование процессов взаимодействия хромо-никелевых расплавов с окислительной плазмой с целью разработки технологических приемов производства низкоуглеродистых коррозионностойких сталей в печах постоянного тока", 2017. Отчет о научно-исследовательской работе: "Получение нанокристаллических магнитопроводов нового поколения с повышенной магнитной проницаемостью, обобщение и оценка результатов исследований", 2010. RU 2498267 C1, 10.11.2013. US 2003057943 A1, 27.03.2003.

Адрес для переписки:  
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,  
УрФУ, Центр интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):  
Тягунов Геннадий Васильевич (RU),  
Цепелев Владимир Степанович (RU),  
Поводатор Аркадий Моисеевич (RU),  
Барышев Евгений Евгеньевич (RU),  
Вьюхин Владимир Викторович (RU),  
Тягунов Андрей Геннадьевич (RU),  
Мушников Валерий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)

(54) Устройство оценки равновесности металлических расплавов

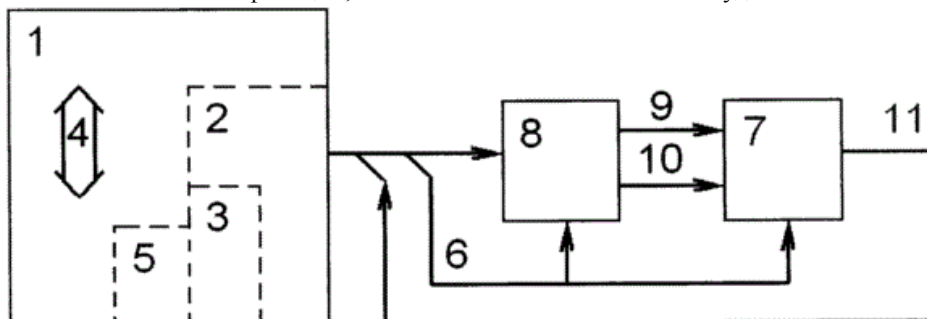
(57) Реферат:

Полезная модель относится к технической физике, а именно к устройствам измерения термовременных зависимостей физических свойств веществ, и предназначено для определения параметров физических свойств расплавов металлических сплавов, при определении этих зависимостей у образцов сплавов фотометрическим методом, основанным на изучении крутильных колебаний цилиндрического тигля с образцом. Дополнительной сферой применения являются металлургия.

Заявляемая полезная модель устройства для оценки равновесности металлических расплавов содержит запоминающее устройство, лабораторную фотометрическую установку, выполненную с возможностью наблюдения, запоминания и сигнализации. От прототипа полезная модель устройства отличается тем, что в нее введены шина синхронизации, блок деления, имеющий по меньшей мере один сигнальный и один синхронизационный входы, коммутатор, имеющий по меньшей мере один сигнальный

и один синхронизационный входы, выход шины синхронизации соединен с синхронизационными входами блока деления и коммутатора, вход блока деления соединен с выходом коммутатора, входы шины синхронизации и коммутатора, а также выход блока деления соединены с вышеуказанной установкой.

Техническим результатом при реализации заявленного технического решения является разработка устройства для оценки равновесности металлических расплавов в виде коэффициента равновесности  $K_n$  образца изучаемого расплава при различных термовременных режимах обработки изучаемого расплава и корректировки режимов плавки. При этом уменьшается субъективность оценки равновесности расплава, повышается наглядность, достоверность и точность оценки равновесности расплава, а также обеспечивается возможность получения данной оценки персоналом невысокой квалификации, в том числе студентами. 1 ил.



Фиг. 1

Полезная модель относится к технической физике, а именно, к устройствам измерения термовременных зависимостей физических свойств веществ, и предназначено для определения параметров физических свойств расплавов металлических сплавов, преимущественно сталей, при определении этих зависимостей у образцов сплавов бесконтактным фотометрическим методом, основанным, в частности, на изучении крутильных колебаний размещенного в электропечи цилиндрического тигля с образцом расплавляемого и охлаждаемого вышеуказанного образца. Дополнительной сферой применения являются металлургия, в том числе разработка и корректировка технологических схем производства сплавов с заданными свойствами.

Изучение термовременных зависимостей свойств образцов металлических сплавов объемом в единицы  $\text{см}^3$  позволяет определить их структурно - чувствительные характеристики, проводить прогностический анализ и давать рекомендации для получения сплавов с заданными характеристиками, например, выделять гистерезисные характеристики цикла нагрева и охлаждения, характерные температуры гистерезиса  $t^\circ_{\text{г}}$ , аномальные  $t^\circ_{\text{ан}}$  и критические  $t_{\text{кр}}$  температурные точки. Для исследований металлических расплавов, в частности на основе железа, кобальта, никеля в основном используют устройства бесконтактного фотометрического - на базе измерения траектории отраженного от зеркала светового луча - «зайчика», определения параметров расплава, например, вязкости  $\nu(t^\circ)$  или удельного электросопротивления  $\rho(t^\circ)$  изучаемого образца посредством определения параметров крутильных колебаний упругой нити с подвешенным на ней в электропечи тиглем с этим образцом - см. пат. РФ №169451 - полезная модель - аналог.

Анализ вида и характеристик термовременных зависимостей - политем необходим, поскольку они отражают различные физико-химические и структурные параметры данного сплава, в том числе аномалии, скачкообразные структурные изменения или перестройки, происходящие в расплаве, причем такой анализ требует высокой квалификации и опыта экспериментатора. Как правило, расплав является неравновесным, а характер структурных изменений при нагреве жидкого металла не монотонен.

Для подобных сплавов монотонная зависимость сохраняется лишь до определенных аномальных температур  $t^\circ_{\text{ан}}$ , при этом интервал температур от температуры ликвидуса  $t_{\text{л}}$  до аномальных температур  $t^\circ_{\text{ан}}$  отражает термическую устойчивость первичной неравновесной структуры расплава, образующейся после плавления шихты. Например, интенсивное увеличение удельного электросопротивления  $\rho(t^\circ)$  начинается от  $t^\circ_{\text{ан}}$  и продолжается по сложной кривой до температуры гистерезиса  $t^\circ_{\text{г}}$ , но устойчивое состояние формирующейся равновесной структуры расплава достигается лишь при нагреве до критических температур  $t_{\text{кр}}$ . Температурный интервал между  $t^\circ_{\text{ан}}$  и температурой гистерезиса  $t^\circ_{\text{г}}$  характеризует интенсивность перестройки структуры расплава в равновесное состояние, т.е.  $\Delta t^\circ_{\text{ин}} = t^\circ_{\text{г}} - t^\circ_{\text{ан}}$ . Поскольку температурный интервал  $\Delta t^\circ_{\text{ин}}$  зависит от качественного и количественного состава сплавов, он может существенно отличаться у различных сплавов, как и физические свойства этих сплавов, например вязкость  $\nu(t^\circ)$  или

удельное электросопротивление  $\rho(t^\circ)$ . При этом вид температурных зависимостей - политейм  $\nu(t^\circ)$  или  $\rho(t^\circ)$  при охлаждении свидетельствует о сохранении равновесного структурного состояния вплоть до температур кристаллизации. Под равновесным структурным состоянием следует понимать - см. Еланский Г.Н. Еланский Д.Г. «Строение и свойства металлических расплавов», М., МГВИ, 2006, с. 180-181, такой режим существования атомарной системы, при котором ее интегральные показатели, такие как взаимное расположение атомов и свойства, характеризуются неизменностью и незначительными колебаниями основных параметров относительно среднего значения, а обобщенная структура системы неизменна во времени и пространстве. Равновесность металлического расплава позволяет, в частности, при прочих равных условиях, расширить на порядок стабильный температурный участок  $\Delta t^\circ$  значений физических свойств этого сплава, например,  $\nu(t^\circ)$  и  $\rho(t^\circ)$ . Это позволяет снизить требования в металлургическом производстве, в частности к температурным режимам, как при выплавке, так и обработке, например, при ковке нагретого изделия.

Известно фотометрическое устройство для определения вязкости  $\nu(t^\circ)$  путем регистрации амплитудно-временных параметров траектории светового луча, отраженного от зеркала, закрепленного на закручиваемой упругой нити, на которой подвешен тигель с расплавом, а в конечном итоге - измерения параметров затухания крутильных колебаний тигля с расплавом и вычисления на их основе  $\delta$ , происходящего после выключения процесса принудительного закручивания упругой нити на определенный угол. При этом используют вычисленное значение декремента затухания  $\delta$ , для чего измеряют амплитуды затухающего колебания  $A_n$  и число колебаний  $n$  между ними - см. С.И. Филиппов и др. «Физико-химические методы исследования металлургических процессов», М., Металлургия, 1968, с. 242, 243, 246-251, - аналог. Основой вычисления вязкости  $\nu$  является ее связь с декрементом затухания  $\delta$ :  $\nu \sim \delta^2$  см. формулу XVI-37, вышеуказанное С.И. Филиппов ..., с. 248.

Прототипом предлагаемой полезной модели является устройство, содержащее лабораторную фотометрическую установку, выполненную с возможностью наблюдения, запоминания и сигнализации - пат. РФ №121587 - полезная модель.

Недостатками оценки равновесности металлических расплавов изучаемых сплавов посредством вышеуказанных аналогов и прототипа являются недостаточность, неоднозначность и субъективность качественной оценки равновесности при отсутствии ее количественной оценки. Вследствие этого затруднены возможности анализа значений физических свойств образцов изучаемого сплава, в частности при различных термовременных режимах нагрева и охлаждения расплавов. Кроме того, не обеспечена возможность осуществления данной оценки персоналом невысокой квалификации, например студентами. В конечном итоге, не обеспечена наглядность, достоверность и точность оценки равновесности металлических расплавов при изучении термовременных зависимостей свойств образцов изучаемых сплавов.

Задачей предлагаемой полезной модели является обеспечение возможности получения количественной оценки равновесности металлических расплавов, а также обеспечение возможности корректировки на ее основе режимов плавки и обработки изделий из изучаемого сплава, уменьшение субъективности оценки равновесности металлических расплавов, повышение точности этой оценки, и кроме того, обеспечение возможности ее осуществления персоналом невысокой квалификации, например студентами. В конечном итоге, это обеспечит возможность повышения наглядности, достоверности и точности оценки равновесности металлических расплавов образцов изучаемых сплавов.

При осуществлении заявляемой полезной модели устройства решается проблема отсутствия устройств данного назначения и, соответственно достигается технический результат, который заключается в реализации назначения устройства.

Указанная проблема решается с помощью предлагаемой полезной модели -устройства для оценки равновесности металлических расплавов.

Заявляемая полезная модель устройства для оценки равновесности металлических расплавов содержит запоминающее устройство, лабораторную фотометрическую установку, соединенную посредством линии связи с блоком сигнализации.

От прототипа полезная модель устройства отличается тем, что в него введены шина синхронизации, блок деления, имеющий, по меньшей мере, один сигнальный и один синхронизационный входы, коммутатор, имеющий, по меньшей мере, один сигнальный и один синхронизационный входы, выход шины синхронизации соединен с синхронизационными входами блока деления и коммутатора, вход блока деления соединен с выходом коммутатора, входы шины синхронизации и коммутатора, а также выход блока деления соединены с вышеуказанной установкой.

Таким образом, при реализации заявляемой полезной модели достигается получение количественной оценки равновесности металлических расплавов в виде коэффициента равновесности  $K_n$  образца изучаемого расплава, обеспечение возможности анализа значений коэффициента  $K_n$ , в частности при различных термовременных режимах обработки изучаемого расплава и корректировки режимов плавки, уменьшение субъективности оценки равновесности расплава, повышение наглядности, достоверности и точности ее оценки, а также обеспечение возможности

получения данной оценки персоналом невысокой квалификации, в том числе студентами.

Предлагаемая полезная модель устройства оценки равновесности металлических расплавов поясняется блок - схемой, приведенной на фиг. 1.

Устройство оценки равновесности металлических расплавов содержит лабораторную фотометрическую установку 1, выполненную с возможностью сигнализации, наблюдения и запоминания посредством компьютера с дисплеем 2 и запоминающим устройством 3, шины данных и управляющих электрических сигналов 4, блока сигнализации 5, в состав которой входят электропечь (на схеме не показано), шина синхронизации 6, блок деления 7, коммутатор 8.

Устройство выполнено на следующих элементах: лабораторная фотометрическая установка 1 представляет собой устройство с электропечью для изучения термовременных зависимостей физических свойств веществ, преимущественно кинематической вязкости расплавов  $\nu(t^\circ)$ , соединенное шиной данных и управляющих электрических сигналов 4 с компьютером с дисплеем 2 и запоминающим устройством 3, а также блоком сигнализации 5, и выполнено по прототипу - см. пат. РФ №121587 - полезная модель. Шина данных и управляющих электрических сигналов 4 - многопроводный шлейф, в том числе с USB-кабелем. Шина синхронизации 6 - витая пара или USB кабель в случае реализации в дискретном виде блока деления 7 и коммутатора 8, либо компьютерная подпрограмма при их виртуальном исполнении. Блок деления 7 может быть выполнен с возможностью установки регулируемого порога. Блок деления 7 выполнен, предпочтительно, в виде виртуального блока, но может быть выполнен как дискретное устройство. Например, для получения отношения двух электрических сигналов 9 и 10 в аналоговом виде, каждый из которых отображен на дисплее компьютера 2 в виде значения экспериментально определенного физического свойства, в частности вязкости  $\nu(t^\circ)_1$  и  $\nu(t^\circ)_2$ , они поступают одновременно на соответствующие два входа блока деления 7. В этом варианте блок деления 7 выполнен в виде схемы вычислителя отношения на микросхеме фирмы Analog Devices AD534 - см. Р. Граф, В. Шиитс «Энциклопедия электронных схем», т. 6, кн. 5, М., 2003, с. 117-118. Блок деления 7 может быть выполнен в виде калькулятора, включенного в режиме арифметического деления, например в режиме процентных вычислений. При этом в него вручную вводят вышеуказанные числовые значения вязкости  $\nu(t^\circ)_1$  и  $\nu(t^\circ)_2$ . На дисплее калькулятора фиксируется величина вычисленного коэффициента равновесности  $K_n$ . В случае цифровых сигналов 9 и 10, которые отражают значения  $\nu(t^\circ)_1$  и  $\nu(t^\circ)_2$ , блок деления 7 выполнен в виде стандартного электронно-счетного частотомера, например, ЧЗ-63, Ф5137, Protec U 3000A, включенного предпочтительно в типовом режиме измерения отношения частот  $f_i = \phi[(\nu(t^\circ)_i)]$ . На его дисплее зафиксирована цифровая величина коэффициента равновесности  $K_n$ , равная отношению, например, частот импульсов  $f_1$  и  $f_2$ , однозначно связанных с значениями вязкости  $\nu(t^\circ)_1$  и  $\nu(t^\circ)_2$  образца изучаемого расплава  $f_i = \phi[(\nu(t^\circ)_i)]$ . Вариантом реализации блока деления 7 является портативный частотомер на дискретных элементах и одной микросхеме фирмы Intersil ICM7216A - см. сайт <http://www.intersil.com>. Также вариантом реализации блока деления 7 является микроконтроллер с программой расчета отношения подаваемых на его входы цифровых сигналов 9 и 10, например STM32 фирмы STMicroelectronics. Коммутатор 8 выполнен, предпочтительно, в виртуальном виде, либо представляет собой дискретный элемент в виде микросхемы 4-канального коммутатора K561КТЗ - см. В.Л. Шило «Популярные цифровые микросхемы», Справочник, М., Радио и связь, 1987, с. 225-226. Он может использовать один открытый канал в случае последовательной передачи данных из вышеуказанной установки 1, посредством запоминающего устройства 3 компьютера с дисплеем 2, на один вход блока деления 7. Однако предпочтительно четное число открытых каналов, например два, в случае параллельной передачи этих же сигналов 9 и 10 отдельно на два входа блока деления 7.

Полезная модель устройства работает следующим образом.

Приготовленный образец сплава массой несколько десятков граммов размещен в тигле, который подвешен в зоне нагрева электропечи (на схеме не показано) вышеуказанной установки 1. В течение нескольких часов осуществляют эксперимент по определению физического свойства, например, вязкости  $\nu$  расплава образца в диапазоне температур от расплавления  $t^\circ_{пл}$  до критической температуры  $t^\circ_k$  в режиме нагрева и последующего охлаждения до кристаллизации. Затем рассчитывают, например, посредством компьютера 2 с запоминающим устройством 3, величины вязкости  $\nu_i$ . Значения результатов в виде политегм, декремента затухания  $\delta$  крутильных колебаний тигля с расплавом и рассчитанной на этой основе вязкости  $\nu(t^\circ)$ , представляют собой кластер электрических сигналов, сохраненный в запоминающем устройстве 3 компьютера 2. Выбирают два значения вязкости  $\nu(t^\circ)_1$  и  $\nu(t^\circ)_2$  при одной и той же температуре  $t^\circ$  на ветвях нагрева  $\nu(t^\circ)_1$  и охлаждения  $\nu(t^\circ)_2$ , например  $t^\circ = t^\circ_{пл} + (10 \dots 100)^\circ\text{C}$ , превышающей температуру плавления  $t^\circ_{пл}$  расплава на  $+(10-100)^\circ\text{C}$ . При данной температуре  $t^\circ$  образец находится в жидком состоянии.

Сигналы, отражающие величины вязкости  $v(t^\circ)_1$  и  $v(t^\circ)_2$  из вышеуказанной установки 1 посредством компьютера 2 поступают на коммутатор 8. В зависимости от синхронизационных сигналов 6, также поступающих из вышеуказанной установки 1 посредством компьютера 2 на синхронизационный вход коммутатора 8, сигналы, отражающие величину вязкости  $v(t^\circ)_1$  и  $v(t^\circ)_2$  имеются на одном из входов при последовательной передаче данных, либо, преимущественно, отдельно на двух входах блока деления 7 в виде электрических сигналов  $A_1$  9 и  $A_2$  10. Электрический сигнал 11 на выходе блока деления 7 представляет собой значения безразмерного коэффициента равновесности  $K_i = K_{11} = K_n$ , равного отношению  $A_1$  9 и  $A_2$  10, эквивалентному  $v(t^\circ)_1$  и  $v(t^\circ)_2$  образца изучаемого расплава:

$$K_n = A_1 / A_2 = v(t^\circ)_1 / v(t^\circ)_2 \quad (1)$$

При этом  $K_n = K_i \leq 1$ . Однако, чем ближе получают значение коэффициента  $K_n = K_i$  к предельному теоретическому значению  $K_n = K_i = 1$ , тем полагают более равновесным состояние структуры изучаемого образца.

Кроме того, после накопления массива данных по значениям коэффициента равновесности  $K_n$ , полученным, например за 10-20 экспериментов, возможно осуществление выбора, например, посредством блока деления 7, заданного порогового значения  $K_{n \text{ пор.}}$  коэффициента  $K_n$  для данного сплава, сохранение его в виде электрического сигнала  $U_{\text{пор.}}$  в запоминающем устройстве 3 и блоке сигнализации 5 для оповещения экспериментатора об изменении коэффициента равновесности  $K_n$ , полученного в текущем эксперименте, например, до уровня ниже порогового  $K_{n \text{ пор.}}$

Пример. При изучении термовременных зависимостей вязкости образца расплава одной из сталей, определены величины  $v(t^\circ)_1 = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $v(t^\circ)_2 = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . При сигналах  $A_1$  9 и  $A_2$  10, представленных, например, в виде однополярных аналоговых уровней напряжения  $A_1 = U_9 = \psi\{v(t^\circ)_1\} = +6,5\text{В}$ ;  $A_2 = U_{10} = \psi\{v(t^\circ)_2\} = +7,5\text{В}$ , получаем электрический сигнал  $U_{11}$  11 на выходе блока деления 7 в виде отношения  $K_n = U_9/U_{10}$  в соответствии с формулой (1),  $K_n = 6,5\text{В}/7,5\text{В} = 0,87$ . Это отношение и является величиной коэффициента равновесности  $K_n = 0,87$ .

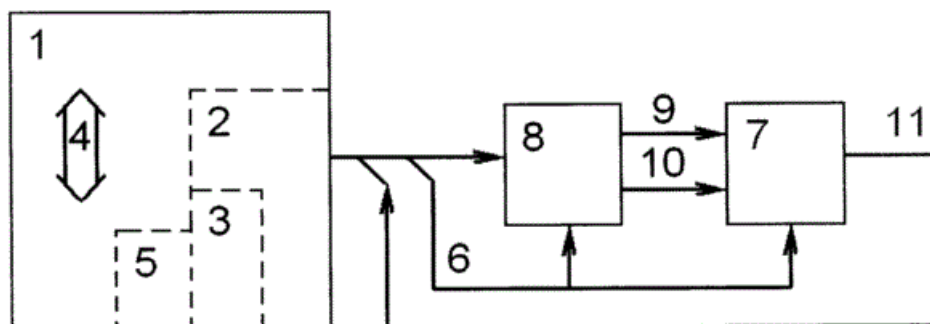
Если в результате термовременной обработки расплава этого сплава коэффициент равновесности  $K_n$  возрастет до значений, более близких к единице, это будет свидетельствовать об уменьшении степени неравновесности расплава, и в конечном итоге, повышении качества сплава. Например, в этом случае для одного из жаропрочных сплавов вблизи температуры  $t_i = +950^\circ\text{C}$  было определено расширение температурного диапазона  $\Delta t^\circ_{\text{ст}}$  с  $20^\circ\text{C}$  до  $200^\circ\text{C}$  стабильных значений физических свойств (показатели технологической пластичности, относительное удлинение, относительное сужение). Увеличение этого диапазона  $\Delta t^\circ_{\text{ст}}$  у образца изучаемой стали ведет к снижению технологических, энергетических и экономических затрат, например при ковке.

Отличительные признаки предлагаемой полезной модели обеспечивают возможность получения количественной оценки равновесности металлических расплавов в виде коэффициента равновесности  $K_n$ . Это обеспечивает дополнительную информацию о расплавах и корректировки на ее основе режимов плавки и обработки сплава. Кроме того, уменьшается субъективность оценки равновесности металлических расплавов, возрастает точность этой оценки, а также обеспечивается возможность осуществления данной оценки персоналом невысокой квалификации, например студентами. В конечном итоге, возрастает наглядность, достоверность и точность оценки равновесности металлических расплавов.

#### Формула полезной модели

Устройство для оценки равновесности металлических расплавов, содержащее лабораторную фотометрическую установку, выполненную с возможностью наблюдения, запоминания и сигнализации, отличающееся тем, что в него введены шина синхронизации, блок деления, имеющий по меньшей мере один сигнальный и один синхронизационный входы, коммутатор, имеющий по меньшей мере один сигнальный и один синхронизационный входы, выход шины синхронизации соединен с синхронизационными входами блока деления и коммутатора, вход блока деления соединен с выходом коммутатора, входы шины синхронизации и коммутатора, а также выход блока деления соединены с вышеуказанной установкой.

Устройство оценки равновесности  
металлических расплавов



Фиг. 1